

Кирвель И.И., Кукшинов М.С.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ГЕОХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ И ИОННЫЙ СОСТАВ ВОДЫ ЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ РЕК

**Введение.** Химический состав воды водохранилищ в значительной степени зависит от источников наполнения. Помимо стока водотоков и склонового стока в наполнении водохранилищ участвуют грунтовые воды и атмосферные осадки. Под влиянием внутриводоемных процессов химический состав воды меняется, и в нижний бьеф сбрасывается вода с несколько трансформированными характеристиками. В этом и проявляется влияние искусственных водоемов на химический состав воды зарегулированных рек.

Характерная черта солевого баланса водохранилищ – преобладание в приходной части уравнения растворенных веществ, поступающих с притоком речных вод (96–99 %), а в расходной – сбрасываемых вместе с речным стоком в нижний бьеф (94–99 %) [2, 3, 7]. Принимая во внимание второстепенную роль остальных источников, анализ трансформации гидрохимического режима рек проведен путем сопоставления результатов проб воды, взятых в створах, расположенных выше и ниже зарегулировавших их водохранилищ. К исследованиям были привлечены данные Республиканского центра радиационного контроля и мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (РЦРКМ) по химическому анализу воды в р. Вилии и Вилейском водохранилище за период с 1996 по 2000 гг. Для анализа изменений режима главных ионов выбран 1997 г. В дополнение к этому, на протяжении 2006 г. нами проведены собственные полевые исследования в нижнем и верхнем бьефе водохранилищ: Вилейского, Петровичского и Вяча. Отбор проб воды и последующие химико-аналитические работы выполнялись по стандартным методикам анализа пресных вод [1]. Годы 1997 и 2006 являются средними по водности и отражают наиболее типичное состояние исследуемых водных объектов.

**Результаты исследований.** Для рек Беларуси характерно сезонное изменение минерализации воды и содержания главных ионов в естественных условиях, обусловленное главным образом сменой характера питания реки [5]. Весной поступление вод поверхностного стока способствует разбавлению величин концентрации, в зимнюю и летнюю межень с переходом рек на грунтовое питание прослеживается рост содержания ионов и минерализации воды. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что создание водохранилищ приводит к перераспределению речного стока в течение года, что отражается на их гидрохимическом режиме ниже плотины. Отмечается нивелирование сезонных различий величин минерализации и изменение сроков наступления ее минимальной и максимальной величин (рисунок 1; таблица 1).

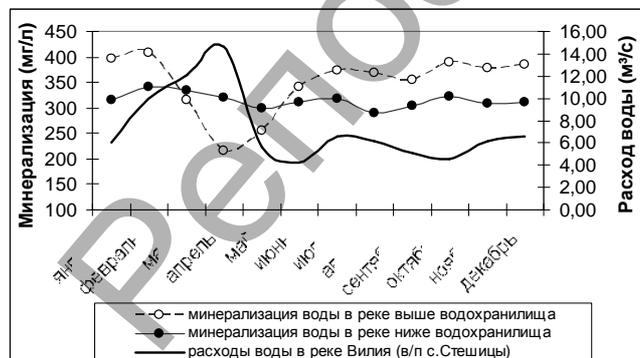


Рис. 1. Изменение минерализации и расхода воды р. Вилии в год 50%-й обеспеченности

Как свидетельствуют данные таблицы 1, амплитуда колебаний минерализации воды в реке, втекающей в Вилейское водохранилище, в 1997 г. составляла 112 мг/дм<sup>3</sup>, в то время как ниже плотины – 53,1 мг/дм<sup>3</sup>. Отмеченное уменьшение годовой амплитуды колебания минерализации воды ниже плотины объясняется смещением в водохранилище водных масс, сформированных в различные сезоны года. В период весеннего половодья, когда вода в водохранилище медленнее разбавляется талой слабо минерализованной водой, вода, сбрасываемая в нижний бьеф, оказывается более минерализованной, чем в реке, впадающей в водохранилище. Весенняя слабоминерализованная вода достигнет плотины тогда, когда будет вытеснена вся зимняя вода, имеющая повышенную минерализацию. Вследствие этого минимальная минерализация воды р. Вилии, которая до строительства водохранилища отмечалась в марте – апреле, оказывается сдвинутой на более поздние сроки (на конец весны – начало лета).

Подобные изменения отмечены ниже водохранилищ расположенных на территории России: Куйбышевского, Рыбинского, Клязьминского, Ивановского, Угличского и других [3, 4, 8]. Результаты этих исследований указывают на то, что с уменьшением годовых значений коэффициентов водообмена водохранилищ происходит уменьшение амплитуды колебания общей минерализации воды в реке ниже гидроузла. Поэтому из многочисленных факторов, определяющих гидрохимический режим водохранилищ и их нижних бьефов, наиболее важным является водообмен. Исследованиями М.Н. Тарасова, И.М. Павелко установлено, что при водообмене больше 7 гидрохимические режимы водохранилища и реки уже практически не отличаются [9].

В соответствии с изменениями минерализации воды меняется и режим главных ионов в воде зарегулированных рек, поскольку между содержанием ионов и минерализацией существует зависимость, которая для доминирующих ионов  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$  характеризуется высокими коэффициентами корреляции (0,97 и 0,96) (рисунок 2).

Анализ данных РЦРКМ показал, что в 1997 году в воде р. Вилии выше водохранилища амплитуда колебания концентрации иона  $\text{HCO}_3^-$  составляла 84,2 мг/дм<sup>3</sup>, в то время как ниже плотины не превышала 53,7 мг/дм<sup>3</sup>. Во входном створе минимальное содержание гидрокарбонатного иона в речной воде наблюдалось в период половодья, когда река переходила на питание талыми снеговыми водами. На выходе же из водохранилища концентрация гидрокарбонатного иона в этот период оказалась максимальной. Содержание  $\text{Ca}^{2+}$  в воде реки, втекающей в Вилейское водохранилище, в 1997 г. колебалось в пределах 45,1–66,9 мг/дм<sup>3</sup>, в то время как ниже плотины – 44,7–56,1 мг/дм<sup>3</sup> [6].

По химическому составу речные воды страны относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы и характеризуются следующим соотношением главных ионов:  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$  и  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ . В ходе проведенных исследований установлено, что создание водохранилищ не привело к изменению существующего класса речных вод ниже плотины. Вместе с тем в воде зарегулированных рек отмечаются некоторые изменения в соотношении концентрации главных ионов (таблица 1). Так, относительное содержание  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$  в воде исследуемых рек ниже плотины понизилось, а ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  повысилось. Тенденция изменения содержания ионов  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{K}^+$  не выражена.

Кирвель Иван Иосифович, доктор географических наук, профессор кафедры анализа окружающей среды Поморской академии.

Республика Польша, 76-200 Słupsk, ul. Arciszewskiego, 22A, e-mail: kirviel@yandex.ru.

Кукшинов Михаил Сергеевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Научно-практического центра учреждения «Минское городское управление Министрства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

Республика Беларусь, г. Минск, 220125, ул. Гинтовта, 5, e-mail: mikuk@yandex.ru\*.

Таблица 1. Содержание главных ионов в воде зарегулированных рек выше и ниже водохранилищ (в числителе концентрация элемента, выраженная в мг/дм<sup>3</sup>; в знаменателе – % экв.)

Река (дата отбора проб)	Место отбора пробы	Ион							Σ <sub>и</sub>
		НСО <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	Са <sup>2+</sup>	Мg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	К <sup>+</sup>	
Вилия 18.02.1997 г.	Выше вдхр.	210,4	54,5	15,2	23,3	10,7	5,3	2,3	321,7
		40,6	32,0	14,7	5,8	3,5	2,7	0,7	
Вилия 18.02.1997 г.	Ниже вдхр.	213,5	56,1	17,1	24,7	10,3	6,6	1,5	329,8
		39,5	31,7	16,0	5,8	3,3	3,2	0,5	
Вилия 02.04.1997 г.	«То же»	181,8	45,1	15,6	18,2	10,6	4,7	3,1	279,1
		39,9	30,1	17,1	5,1	4,0	2,7	1,1	
Вилия 02.04.1997 г.	«То же»	213,5	53,5	16,4	24,7	12,4	7,6	2,4	330,5
		39,9	30,4	15,4	5,8	4,0	3,8	0,7	
Вилия 24.06.1997 г.	« »	212,3	55,7	12,5	12,5	8,0	4,3	1,4	306,7
		43,4	34,7	12,9	3,2	2,9	2,4	0,5	
Вилия 24.06.1997 г.	« »	195,2	54,7	11,8	23,7	9,0	6,1	2,2	302,7
		40,2	34,3	12,2	6,1	3,1	3,3	0,8	
Вилия 17.07.1997 г.	« »	246,8	66,9	14,6	17,9	10,1	4,4	1,6	362,3
		42,7	35,3	12,7	3,9	3,0	2,0	0,4	
Вилия 17.07.1997 г.	« »	180,9	51,9	14,5	36,6	9,3	4,8	2,3	300,3
		36,9	32,3	14,8	9,5	3,2	2,6	0,7	
Вилия 02.09.1997 г.	« »	266,0	65,7	19,2	21,1	10,8	6,2	2,1	391,1
		42,4	31,9	15,4	4,3	2,9	2,6	0,5	
Вилия 02.09.1997 г.	« »	169,6	44,7	15,7	33,7	10,0	6,8	1,7	282,2
		36,5	29,3	16,9	9,2	3,7	3,9	0,5	
Вилия 12.11.1997 г.	« »	255,0	63,3	18,8	19,0	11,3	4,0	1,3	372,7
		42,6	32,3	15,8	4,1	3,3	1,7	0,3	
Вилия 12.11.1997 г.	« »	223,3	54,7	18,0	21,2	11,8	4,3	2,0	335,3
		41,2	30,7	16,7	5,0	3,7	2,1	0,6	
Волма 28.02.2006 г.	« »	196,9	50,6	13,5	18,0	10,1	4,8	1,1	295,2
		41,5	32,5	14,3	4,8	3,7	2,7	0,4	
Волма 28.02.2006 г.	« »	200,2	51,2	13,6	18,8	10,6	5,6	1,6	301,6
		41,4	32,2	14,1	4,9	3,8	3,1	0,5	
Волма 21.05.2006 г.	« »	180,8	46,1	13,7	18,3	9,6	3,7	0,8	273,0
		41,0	31,8	15,6	5,3	3,8	2,2	0,3	
Волма 21.05.2006 г.	« »	132,0	33,7	10,2	19,2	10,3	5,7	1,2	212,3
		38,3	29,8	14,8	7,1	5,1	4,4	0,5	
Волма 20.08.2006 г.	« »	179,9	45,8	13,1	16,8	10,1	3,8	1,8	271,3
		41,2	31,9	15,1	4,9	4,0	2,3	0,6	
Волма 20.08.2006 г.	« »	152,4	39,9	10,8	17,4	10,1	5,5	0,8	236,9
		39,7	31,7	14,2	5,8	4,5	3,8	0,3	
Вяча 28.02.2006 г.	« »	193,5	45,9	12,8	14,2	8,0	6,0	3,1	283,5
		43,0	31,1	14,3	4,0	3,0	3,5	1,1	
Вяча 28.02.2006 г.	« »	196,2	46,4	13,0	14,8	8,5	6,9	3,1	288,9
		42,7	30,7	14,2	4,1	3,2	4,0	1,1	
Вяча 21.05.2006 г.	« »	182,6	46,1	12,8	18,1	10,8	5,3	2,8	278,5
		40,8	31,4	14,4	5,1	4,2	3,1	1,0	
Вяча 21.05.2006 г.	« »	161,5	41,5	11,6	18,8	10,9	5,8	2,4	252,5
		39,6	31,0	14,3	5,8	4,6	3,8	0,9	
Вяча 20.08.2006 г.	« »	198,3	48,2	12,4	16,6	7,8	5,8	2,5	291,6
		42,7	31,6	13,4	4,5	2,9	3,3	0,9	
Вяча 20.08.2006 г.	« »	170,2	42,9	10,4	17,1	8,6	7,2	1,8	258,2
		41,2	31,5	12,8	5,3	3,6	4,6	0,7	

Таблица 2. Коэффициенты геохимического воздействия искусственных водоемов

Ион	Водохранилище (дата)		
	Вилейское	Петровичское	Вяча
HCO <sup>3-</sup>	0,01 (18.02.97)	0,02 (28.02.06)	0,01 (28.02.06)
	0,17 (02.04.97)		
	-0,08 (24.06.97)		
	-0,27 (17.07.97)		
	-0,12 (12.11.97)		
Ca <sup>2+</sup>	0,03 (18.02.97)	0,01 (28.02.06)	0,01 (28.02.06)
	0,19 (02.04.97)		
	-0,02 (24.06.97)		
	-0,22 (17.07.97)		
	-0,17 (12.11.97)		
Mg <sup>2+</sup>	0,12 (18.02.97)	0,01 (28.02.06)	0,02 (28.02.06)
	0,05 (02.04.97)		
	-0,06 (24.06.97)		
	-0,01 (17.07.97)		
	-0,04 (12.11.97)		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,06 (18.02.97)	0,04 (28.02.06)	0,04 (28.02.06)
	0,36 (02.04.97)		
	0,90 (24.06.97)		
	1,04 (17.07.97)		
	0,11 (12.11.97)		
Cl <sup>-</sup>	-0,04 (18.02.97)	0,05 (28.02.06)	0,06 (28.02.06)
	0,17 (02.04.97)		
	0,13 (24.06.97)		
	-0,08 (17.07.97)		
	0,04 (12.11.97)		
Na <sup>+</sup>	0,24 (18.02.97)	0,17 (28.02.06)	0,15 (28.02.06)
	0,62 (02.04.97)		
	0,42 (24.06.97)		
	0,09 (17.07.97)		
	0,08 (12.11.97)		
K <sup>+</sup>	-0,34 (18.02.97)	0,23 (28.02.06)	0,00 (28.02.06)
	-0,23 (02.04.97)		
	0,57 (24.06.97)		
	0,44 (17.07.97)		
	0,54 (12.11.97)		
Σ <sub>и</sub>	0,025 (18.02.97)	0,02 (28.02.06)	0,02 (28.02.06)
	0,18 (02.04.97)		
	-0,01 (24.06.97)		
	-0,17 (17.07.97)		
	-0,10 (12.11.97)		

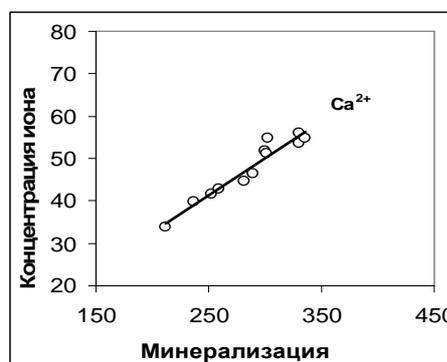
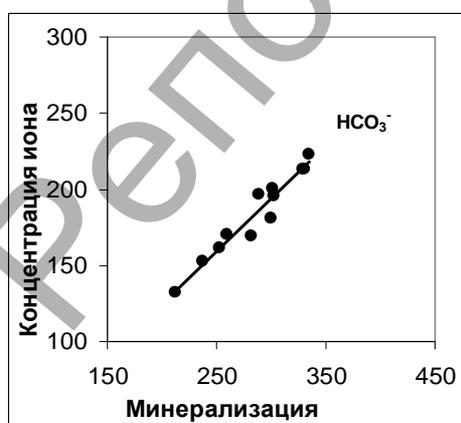


Рис. 2. Зависимость между минерализацией воды и концентрацией доминирующих ионов HCO<sup>3-</sup> и Ca<sup>2+</sup> в воде р. Вилии, р. Волмы и р. Вячи в створах расположенных ниже водохранилищ

Для оценки степени влияния водохранилищ на химический состав воды зарегулированных водотоков нами применен коэффициент геохимического воздействия, широко применяемый при анализе влияния урбанизированных территорий на химический состав вод ниже городов (таблица 2):

$$K_{г.в.} = \frac{C_{н} - C_{в}}{C_{в}}$$

где  $K_{г.в.}$  – коэффициент геохимического воздействия искусственного водоема,

$C_{н}$  – концентрация элементов ниже водохранилища,

$C_{в}$  – концентрация элементов выше водохранилища.

Полученные коэффициенты позволяют оценить степень влияния водохранилищ на гидрохимический режим зарегулированных водотоков в зависимости от их гидроморфологических особенностей и конкретного сезона года. Так, согласно приведенным в таблице данным, наибольшее влияние на ионный состав воды исследуемых рек оказывает Вилейское водохранилище, имеющее меньший коэффициент условного водообмена по сравнению с водохранилищами Петровицкое и Вяча. В отношении ионов  $\text{HCO}_3^{3-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  установлена тенденция к увеличению их концентраций в зимний период и период половодья. В первом случае, это объясняется преобладанием процессов деструкции вещества, накопленного в водохранилище, а во втором – смешением в водохранилище водных масс, сформированных в различные сезоны года, и их осреднением. На протяжении остального периода года концентрация этих ионов в речной воде на выходе из водохранилищ снижается по сравнению с их концентрацией во входных створах. В летний период это снижение обусловлено интенсивно идущим в водохранилищах процессом фотосинтеза, что сопровождается разложением ионов  $\text{HCO}_3^{3-}$ , а ионы  $\text{Ca}^{2+}$  активно потребляются водными организмами. Ионы  $\text{Mg}^{2+}$  входят в состав хлорофилла и играют важную роль в жизни водорослей, активно развивающихся в водохранилищах, что способствует снижению концентрации этого элемента. Концентрация ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  на протяжении всего года, как правило, оказывается более высокой в реке ниже плотины. Более значительное увеличение характерно для весенне-летнего периода, что указывает на приоритетную роль агротехногенного фактора в изменении концентраций этих элементов в воде зарегулированных рек ниже плотины. Как отмечается [5], увеличение концентрации этих элементов в природных водах является следствием влияния главным образом антропогенных источников.

#### Заключение

1. В зависимости от степени перераспределения речного стока в нижнем бьефе водохранилищ отмечается уменьшение годовой амплитуды колебаний минерализации воды до 2 и более раз, и смещение ее минимальной и максимальной величины на более поздние сроки: до 1–2 месяцев по сравнению с естественным режимом.

2. Создание водохранилищ не приводит к изменению существующего класса речных вод. Вместе с тем в речной воде ниже плотины водохранилищ отмечается уменьшение относительного содержания гидрокарбонатного иона и кальция, и увеличение сульфатных ионов, ионов хлора и натрия. Максимальное влияние искусственных водоемов на ионный состав зарегулированных рек характерно для весенне-летнего периода. Весной это обусловлено задержкой в водохранилище водных масс, сформированных в различные периоды года, а летом – активно идущими процессами фотосинтеза, повышенным биологическим потреблением элементов и агротехногенным использованием водосборных территорий.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алекин, О.А. Руководство по химическому анализу вод суши / О.А. Алекин, А.Д. Семенов, Б.А. Скопинцев. – 3-е изд. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 269 с.
2. Двуреченская, С.Я. Исследование изменчивости гидрохимического режима Новосибирского водохранилища / С.Я. Двуреченская // География и природ. ресурсы. – 2007. – № 4. – С. 74–79.
3. Денисова, А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования / А.И. Денисова. – Киев: Наук. думка, 1979. – 290 с.
4. Знаменский, В.А. Гидрологические процессы и их роль в формировании качества воды / В.А. Знаменский. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 248 с.
5. Кадацкая, О.В. Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов / О.В. Кадацкая. – Минск: Наука и техника, 1987. – 134 с.
6. Кирвель, И.И. Трансформация гидрохимического режима зарегулированных рек / И.И. Кирвель, М.С. Кукшинов // Природ. ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 5–15.
7. Попов, А.Н. Прогноз минерализации воды строящегося Юмагзинского водохранилища / А.Н. Попов, Г.А. Оболдина // Вод. ресурсы. – 2005. – Т. 32, № 2. – С. 214–222.
8. Сороковикова, Л.М. Трансформация главных ионов и минерализации воды р. Енисей в условиях зарегулированного стока / Л.М. Сороковикова // Вод. ресурсы. – 1993. – № 3. – С. 320–325.
9. Тарасов, М.Н. Изменения гидрохимического режима рек при их зарегулировании водохранилищами и вопросы прогнозирования / М.Н. Тарасов, И.М. Павелко // Гидрохимические материалы: сб. науч. тр. / Гидрохим. ин-т. – М., 1969. – Т. 50: Химия природных вод, их загрязнение и самоочищение. – С. 47–56.

Материал поступил в редакцию 19.03.14

#### CHERVIL I.I., KUKSHINOV M.S. Methodical bases and experience of application of coefficients of geochemical influence at the assessment of influence of artificial reservoirs on the mineralization and ionic composition of regulated water of the rivers

The article deals with the problem of transformation of hydro chemical regime of rivers under influence of artificial reservoirs. The given results concern complex evaluation of influence of existing river reservoirs on mineralization and ionic structure of fluvial water. The researches have shown that in the downstream of the reservoirs levelling of seasonal distinctions in value of mineralization and the change of terms of extreme (minimal and maximal) values is marked.

УДК 556.5.01

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Зайцева И.С.,  
Кашутина Е.А., Барабанова Е.А.

### АНТРОПОГЕННЫЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ

**Введение.** Соотношение вклада природных, в основном климатических, и антропогенных факторов в происходящие изменения стока Волги остается недостаточно изученным, несмотря на то, что соответствующие исследования велись и ведутся в Государственном гидрологическом институте (ГГИ), Институте водных проблем РАН, Институте

географии РАН, географическом факультете МГУ и в других организациях (Антропогенные воздействия..., 2003; Водные ресурсы..., 2008; Воропаев и др., 2003; Георгиади и др., 2012, 2013; Георгиевский, 2005; Джамалов и др., 2012; Зайцева, 1990; Коронкевич, 1990; Шикломанов, 1976, 1979; и др.). Недостаточная изученность во многом обусловлена

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии Российской академии наук, Россия, г. Москва, e-mail: hydro-igras@yandex.ru.